

TRAMPA ELECTRÓNICA IoT PARA EL MONITOREO DE SPODOPTERA FRUGIPERDA EN CULTIVOS DE MAÍZ

IoT ELECTRONIC TRAP FOR MONITORING SPODOPTERA FRUGIPERDA IN CORN CROPS

Andrés Fernando Jiménez López

Universidad de los Llanos, Colombia
ajimenez@unillanos.edu.co

Fabián Rolando Jiménez López

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia
fabian.jimenez02@uptc.edu.co

Dayra Yisel García Ramírez

Universidad de los Llanos, Colombia
dgarcia@unillanos.edu.co

Elsa Judith Guevara

Centro de Investigaciones La Libertad, AGROSAVIA, Colombia
eguevara@agrosavia.co

Andrés Javier Peña Quiñones

Centro de Investigaciones La Libertad, AGROSAVIA, Colombia
apena@agrosavia.co

Recepción: 24/noviembre/2023

Aceptación: 29/abril/2024

Resumen

El manejo integrado de plagas en la agricultura es fundamental para aumentar rendimientos en los cultivos, disminuir costos de producción y mejorar la sustentabilidad ambiental. Este artículo muestra los avances en el desarrollo de trampas electrónicas inteligentes para el monitoreo de la incidencia del gusano cogollero (*Spodoptera Frugiperda*) en un cultivo de maíz. El artículo se centra en el diseño de la arquitectura del sistema y el desarrollo de algoritmos de procesamiento de imágenes para la detección y el conteo de insectos. El seguimiento de la población de insectos se transmite a una estación base y se monitorea mediante dispositivos con acceso a internet. En los resultados preliminares de detección de polillas se encontró una precisión de 96.1% mediante una red neuronal convolucional y 100% con tratamiento digital de imágenes. Se evidencia la

potencialidad del sistema desarrollado para el seguimiento de esta plaga en el cultivo de maíz.

Palabras Clave: Cultivo de Maíz, Detección de plagas, Internet de las cosas, Redes de sensores inalámbricas, Tratamiento digital de imágenes.

Abstract

*Integrated pest management in agriculture is essential for increasing crop yields, reducing production costs, and improving environmental sustainability. This article presents advances in the development of intelligent electronic traps for monitoring the incidence of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in a corn crop. The article focuses on the design of the system architecture and the development of image processing algorithms for insect detection and counting. Insect population monitoring data are transmitted to a base station and monitored using devices with internet access. Preliminary results for moth detection showed 97% accuracy using a convolutional neural network and 100% accuracy with digital image processing. The potential of the developed system for monitoring this pest in corn cultivation is evident.*

Keywords: *Corn crop, Digital image processing, Internet of things, Pest detection, Wireless sensor networks.*

1. Introducción

En 2020, de acuerdo con el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística de Colombia), el sector agropecuario en Colombia experimentó un crecimiento del 6.8% en el primer trimestre, del 0.1% en el segundo trimestre y del 1.5% en el tercer trimestre.

En contraste, la economía total del país mostró un crecimiento del 1.2% en el primer trimestre, una disminución del 15.8% en el segundo trimestre y una caída del 9% en el tercer trimestre. Estos datos resaltan la importancia crucial del sector agropecuario en la economía colombiana y subrayan la necesidad de mejorar los procesos productivos, dado que este sector fue el que más creció durante el año 2020. Esta información destaca claramente la relevancia económica del sector

agropecuario, subrayando la necesidad de optimizar sus operaciones y su contribución al producto interno bruto.

A nivel global, las plagas y enfermedades en los cultivos afectan significativamente el sistema productivo agrícola. Los insectos, siendo el grupo animal más diverso, constituyen una de las biomasas más grandes de animales terrestres, con impactos variados en los ecosistemas [Bar-On, 2018]. Actúan como polinizadores, beneficiando a los ecosistemas, pero también pueden ser vectores de enfermedades infecciosas [Genoud, 2021]. Estos desafíos son palpables a nivel regional, como en Murcia, España, donde las pérdidas causadas por plagas y enfermedades ascendieron a más de 120 millones de euros en 2020. Similarmente, en los llanos orientales de Colombia, una plaga creciente de langostas nativas devastó cultivos de arroz, maíz y caña de azúcar, resultando en pérdidas incalculables para ganaderos y agricultores, como se alertó en junio de 2020.

El gusano cogollero, conocido científicamente como *Spodoptera Frugiperda* Smith, 1797 (Figura 1), es un insecto perteneciente a la familia *Noctuidae*. Su comportamiento alimenticio lo convierte en una plaga destructiva, migratoria y polífaga que afecta los cultivos en el hemisferio occidental [Paredes, 2021].



Fuente: *Ecobertura*, 2023.

Figura 1 *Spodoptera Frugiperda*.

Este insecto, también llamado gusano cogollero del maíz, causa daños durante las primeras etapas del cultivo al roer la epidermis del envés de la hoja, creando áreas translúcidas conocidas como "ventanas". En su tercer estadio, las larvas comienzan a consumir toda la hoja, dejando agujeros irregulares, y luego se trasladan al fruto, donde continúan alimentándose. Este proceso conduce a una pérdida significativa de su valor comercial [Ecobertura, 2023].

El gusano cogollero, originario del norte y América del Sur, fue detectado por primera vez en África en 2016 [Goergen, 2016]. Posteriormente, se extendió por

toda Asia, como indica el estudio de [Kalleshwaraswamy, 2018]. En América, se sabe que esta plaga se alimenta de más de 350 especies de plantas [Montezano, 2018]. Si se consideran solo los cultivos de arroz, sorgo, maíz y caña de azúcar, se estima que el gusano cogollero ocasiona pérdidas económicas de hasta 13 mil millones de dólares estadounidenses al año en África [Harrison, 2019].

Las trampas electrónicas de insectos son una versión mejorada de las trampas comunes, diseñadas para transmitir de forma inalámbrica la información sobre el conteo o la población de insectos capturados. Estos dispositivos ofrecen estimaciones sobre la presencia de insectos, lo que permite detectar el inicio de una infestación, evaluar la dinámica de la población y medir la eficacia del tratamiento con insecticidas posteriormente. Además, son valiosos para propósitos de control poblacional al reducir el uso de insecticidas, como señala [Rigakis, 2021]. Estos sistemas operan continuamente, permitiendo una medición precisa de las poblaciones de insectos las 24 horas del día. Además, las trampas electrónicas recopilan datos a intervalos regulares, lo que facilita el seguimiento de la respuesta de los insectos a las feromonas.

La creación de una trampa electrónica de insectos que se pueda desplegar estratégicamente en los campos tiene como finalidad mantener un equilibrio real en la población de insectos-plaga en el área cultivada. Esto posibilita el control de las plagas mediante técnicas de Agricultura Digital [Goldshtein, 2017]. El Manejo Integrado de Plagas (MIP) representa una herramienta ecológica empleada en la gestión de plagas en los cultivos. Su objetivo principal es asistir a los agricultores en la toma de decisiones que sean económicas como respetuosas con el medio ambiente. Un aspecto destacado del MIP consiste en reducir la frecuencia y la cantidad de aplicación de insumos sin comprometer la calidad de los cultivos [Holguín, 2010].

En la literatura existente sobre trampas electrónicas para insectos, se han delineado dos enfoques de investigación. El primero se basa en técnicas que emplean cámaras digitales y procesamiento de imágenes [Prete, 2020], [Flórián, 2020], [Gutiérrez, 2019], o en el uso de contadores ópticos junto con señuelos selectivos [Potamitis, 2018], [Weber, 2017]. En el método de los contadores ópticos, el insecto

cae a través del embudo de la trampa, interrumpiendo el flujo de luz infrarroja entre el emisor y el receptor. La variación en la luz causada por la sombra proyectada sobre el receptor debido al insecto que cae se traduce en cambios de voltaje, que a su vez se convierten en un recuento de insectos [Rigakis, 2021], [Saradopoulos, 2022]. Explorar este tipo de alternativas que ayuden a los agricultores a optimizar los recursos invertidos en sus cultivos no solo mejora su situación económica, sino también la calidad final de sus productos. En el caso del manejo de la *Spodoptera Frugiperda*, se establece la investigación de crear y poner en marcha una red de trampas electrónicas que permita a los agricultores identificar las áreas de sus cultivos con una mayor concentración de insectos. El propósito de esta tecnología es proporcionar datos espaciales sobre los puntos de infestación en sus campos, lo que capacita a los agricultores para tomar decisiones más informadas al elegir dónde aplicar insumos, utilizando enfoques de tasas variables.

El sistema propuesto en este proyecto tiene como objetivo abordar varios desafíos relacionados con el uso de redes de sensores inalámbricas (WSN, *Wireless Sensor Network*, por sus siglas en inglés) para el manejo integrado de plagas. En primer lugar, se busca desarrollar una aplicación automatizada para contar insectos-plaga que integre diversas tecnologías como WSN, procesamiento de imágenes, IoT (*Internet of Things*, por sus siglas en inglés) y computación en la nube. En segundo lugar, se pretende crear un mapeo automático de la densidad de población como una herramienta para tomar decisiones en el manejo integrado de plagas. En tercer lugar, se aspira a proporcionar una herramienta para la implementación del control biológico en los cultivos. La efectividad del manejo biológico radica en su naturaleza preventiva, es decir, debe llevarse a cabo antes de que cause daños económicos. Por esta razón, debe aplicarse antes de que los insectos se conviertan en una plaga.

2. Métodos

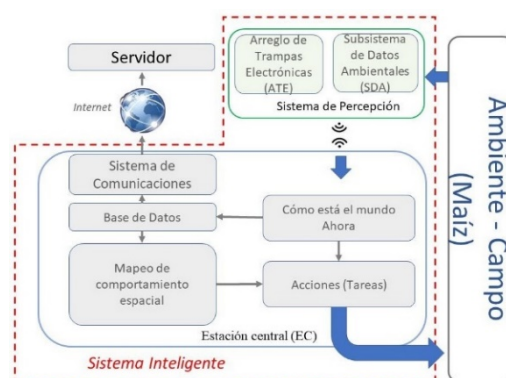
Descripción del campo de estudio

Este estudio fue llevado a cabo en la Universidad de los Llanos y en el Centro de Investigación Libertad de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, ubicado en los kilómetros 12 y 17, respectivamente, en la vía que

conduce a Puerto López – Meta, Colombia. La ubicación geográfica del cultivo piloto se encuentra en las coordenadas 4°03'31" de latitud norte y 73°27'58" de longitud oeste. En esta región, la precipitación media anual es de 2.933 mm y la temperatura promedio es de 26 °C, según datos de [Weather Spark, 2023]. El Centro de Investigación Libertad abarca un área de 1.332 hectáreas y presenta diversas zonas agroecológicas, incluyendo valles aluviales húmedos y suelos ácidos de baja fertilidad, clasificados como oxisoles. El paisaje se caracteriza por terrazas altas, medias y bajas, típicas de la subregión del piedemonte. El cultivo establecido en el área de estudio es maíz.

Sistema inteligente de detección y mapeo de población insecto-plaga

El sistema inteligente facilita la recopilación de datos del entorno mediante un sistema de percepción. Este sistema de percepción se compone de un Arreglo de Trampas Electrónicas (ATE) y un Subsistema de Datos Ambientales (SDA). Utilizando los datos obtenidos del sistema de percepción, el sistema inteligente es capaz de determinar la población de insectos en el cultivo. Estos datos se almacenan en una base de datos y se utilizan para crear un mapa que muestra la distribución espacial de los insectos en el campo. Basándose en este mapa de infestación, los ingenieros agrónomos o expertos en manejo integrado de plagas pueden tomar decisiones informadas sobre las acciones o actividades a realizar. El esquema de la arquitectura del sistema inteligente de detección de población insecto-plagas se describe en la figura 2.



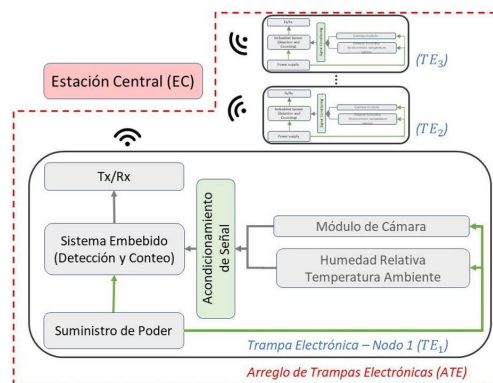
Fuente: elaboración propia.

Figura 2 Arquitectura del sistema inteligente.

La creación del sistema implica combinar diversos elementos. En esta sección, se detalla la estructura general del sistema y los requisitos tanto de software como de hardware necesarios para garantizar su funcionamiento adecuado. En primer lugar, se exponen los requisitos y especificaciones del hardware para el sistema de percepción. A continuación, se analizan los aspectos metodológicos del desarrollo del software. Por último, se presentan los algoritmos subyacentes utilizados para contar insectos.

Subsistema de percepción: componentes de hardware

Las pautas de diseño de hardware para el sistema de percepción consideraron el empleo de dispositivos electrónicos de bajo costo, lo que permite modularidad y posibilidad de reproducción. Este sistema consta de nodos sensores interconectados en una red inalámbrica de malla, junto con una Estación Central (EC). En la figura 3 se ilustra el esquema de la organización de los componentes electrónicos de hardware en el arreglo de las trampas electrónicas diseñadas.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3 Arquitectura de la matriz de trampas electrónicas.

Cada nodo sensor funciona con una batería recargable de 12 V y un panel solar de 10 W. Para cada nodo sensor, se utiliza un Raspberry Pi® Zero W como estación central. La comunicación entre los nodos se realiza a través de módulos XBee™ RF (Fabricante *Digi International, Minnetonka, Minn.*) con el protocolo ZigBee®. Las especificaciones de ZigBee® son una frecuencia de 2,4 GHz y un alcance de 3200 metros con una antena omnidireccional de alta ganancia de 6 dBi.

Además, cada nodo sensor está equipado con un módulo de cámara Raspberry Pi® V2 (RPI-CAM-V2) de segunda generación, que cuenta con una lente de enfoque fijo y se basa en un sensor Sony Exmor IMX219 que admite una resolución máxima de 1080P30 y toma fotografías de 8MP en la placa Raspberry Pi®. Además, el nodo sensor cuenta con una fuente de alimentación de 2A proporcionada por Spectrum Technologies, Inc., con sede en Aurora, IL, UE. El corazón del sistema fue desarrollado utilizando una Raspberry Pi® W Zero.

Los insectos son atraídos al compartimento donde se encuentra la cámara mediante la feromona para *Spodoptera Frugiperda* que es un atrayente sexual sintético que se utiliza para monitorear y capturar machos adultos, para reducir la posibilidad de apareamiento, resultando en una reducción de la población. Su ingrediente activo es Acetato de Z9-tetradecanilo, Acetato de Z11-hexadecenilo, Acetato de Z7-dodecenilo 750 mg I.A./kg de producto.

Estación central - Componentes de hardware

El componente principal de la Estación Central (EC) es una Raspberry Pi® 4, modelo B. Esta EC se encarga de recopilar datos provenientes de los nodos sensores mediante los dispositivos XBee™ y mediante su conexión a internet mediante cable o WiFi™, los envía a la aplicación Web ThingSpeak™ para su visualización y seguimiento en un mapa. ThingSpeak™ es una plataforma gratuita para el internet de las cosas, que se fundamenta en la recopilación de datos de objetos conectados a través del protocolo HTTP. Además, la EC guarda el valor de conteo de insectos de cada trampa conectada en una base de datos interna. Para su funcionamiento, el software en la estación central se desarrolló en Python™ 3 utilizando la interfaz gráfica de usuario Qt5 [Fitzpatrick, 2022].

Subsistema de detección y conteo de insectos

Se aplicaron dos enfoques para detectar y contar los insectos. El primero emplea técnicas de procesamiento de imágenes, que implican la adquisición, mejora, restauración, procesamiento del color, procesamiento morfológico, segmentación, representación, descripción y reconocimiento de objetos. Para este procedimiento

se utilizó un algoritmo en python3 y openCV2, que permite el conteo de los insectos atrapados en la trampa.

En cuanto la segunda aproximación, en este trabajo se muestran los avances en el entrenamiento de una red neuronal convolucional para la clasificación de los posibles insectos que podrían quedar atrapados en las trampas.

Los insectos empleados para este propósito fueron clasificados de la siguiente manera: (1) mariposas (3596 imágenes), (2) libélulas (4144 imágenes), (3) saltamontes (3840 imágenes), (4) mariquitas (3456 imágenes), (5) mosquitos (2760 imágenes) y (6) spodoptera (3612 imágenes). Estos datos sobre insectos fueron recopilados tanto en laboratorio como a través de la fuente: <https://www.kaggle.com/datasets/hammaadali/insects-recognition>. Para aumentar el conjunto de datos, se aplicó una rotación de 90 grados a las imágenes, salvo en el caso de la spodoptera, en donde se usaron rotaciones de 10 grados. Además, cada imagen fue invertida y sometida a nuevas rotaciones.

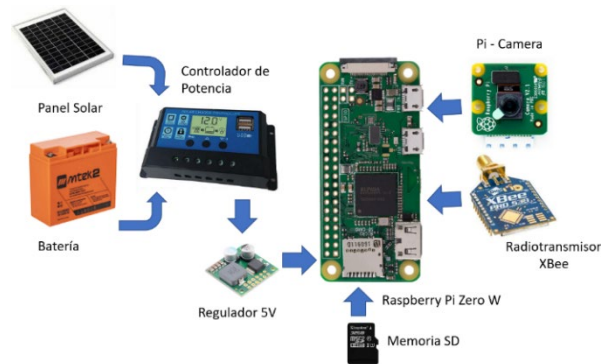
En cuanto a la red neuronal convolucional implementada se utilizaron las siguientes capas: (1) convolution2dLayer, (2) batchNormalizationLayer, (3) reluLayer, (4) maxPooling2dLayer, (5) convolution2dLayer, (6) batchNormalizationLayer, (7) reluLayer, (8) maxPooling2dLayer, (9) convolution2dLayer, (10) batchNormalizationLayer, (11) reluLayer, (12) fullyConnectedLayer, (13) softmaxLayer, (14) classificationLayer.

La implementación del algoritmo de entrenamiento se realizó en Matlab® Versión 2023 por su facilidad de operación y disponibilidad de *toolboxes* y comandos para comandos para aprendizaje de máquina. Posteriormente se realizó la implementación del algoritmo del modelo seleccionado en Python™ y su sistema de inferencia en la Raspberry Pi®.

3. Resultados

Este estudio presenta los progresos de un proyecto cuyo propósito es crear una trampa electrónica para identificar el gusano cogollero (*Spodoptera Frugiperda*) en campos de maíz. La figura 4 muestra el esquema de conectividad con los componentes electrónicos de la trampa electrónica para captura de insectos.

La figura 5 ilustra las configuraciones de las trampas para la captura de datos. Como se evidencia en la figura 5a, los elementos de la trampa se fusionaron en un solo dispositivo que cuenta con protección contra condiciones climáticas como lluvia, humedad, polvo y variaciones de temperatura. En la figura 5b, se muestra la implementación de la trampa electrónica en un cultivo de maíz, con un sistema de alimentación fotovoltaico.



Fuente: elaboración propia.

Figura 4 Componentes de la trampa electrónica.



a) Montaje electrónico.



b) Implementación en campo.

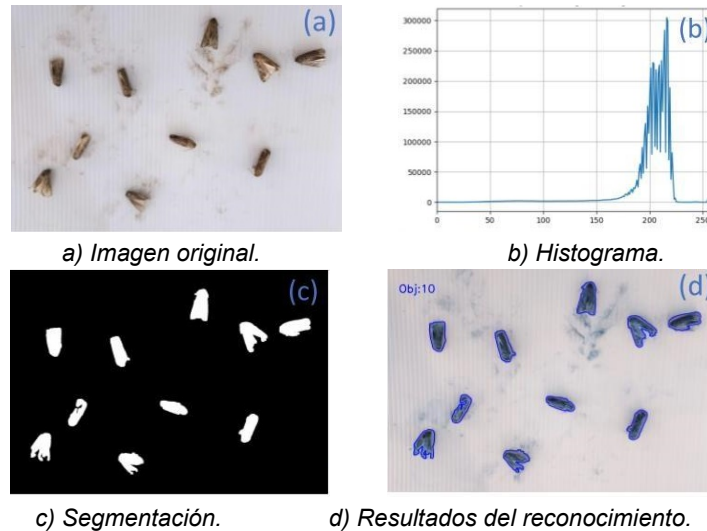
Fuente: elaboración propia.

Figura 5 Configuraciones de las trampas para la captura de datos.

Los algoritmos para detectar y contar insectos mediante tratamiento digital de imágenes se crearon en Python™ 3, empleando la biblioteca de visión artificial OpenCV para la captura y procesamiento de las imágenes.

La figura 6 exhibe los resultados obtenidos del procesamiento de imágenes para la detección y conteo de las polillas del gusano cogollero. La figura 6a representa la imagen original capturada por la cámara Raspberry Pi®. En la figura 6b, se muestra el histograma de la imagen en escala de grises. La figura 6c despliega la imagen

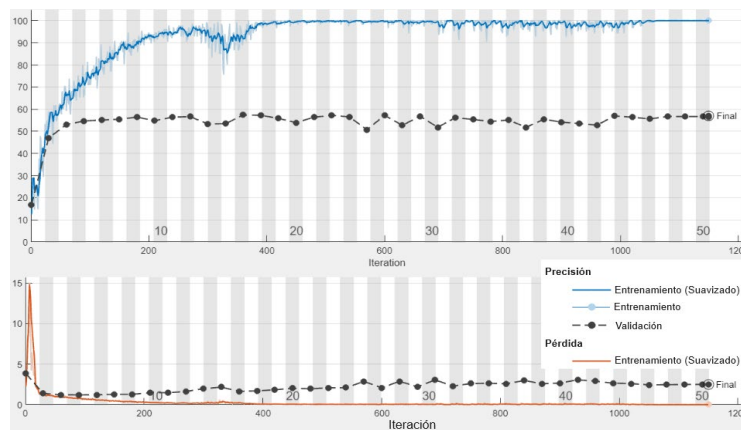
procesada después del procedimiento de segmentación. Finalmente, la figura 6d presenta los resultados del reconocimiento y conteo de las polillas atrapadas en la trampa electrónica.



Fuente: elaboración propia.

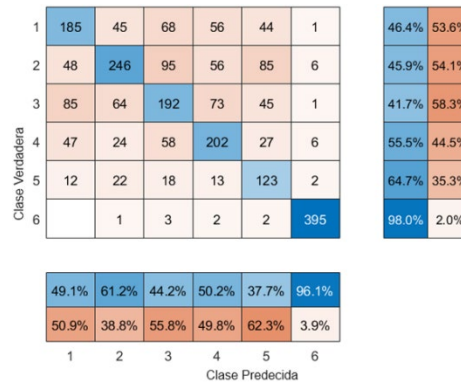
Figura 6 Reconocimiento y conteo de polillas con tratamiento digital.

Los resultados obtenidos al implementar la red neuronal convolucional están representados en las figuras 7 y 8. En la figura 7, se muestra la gráfica de precisión y el error durante el proceso de entrenamiento. En la figura 8, se muestra la matriz de confusión de la red neuronal convolucional implementada.



Fuente: elaboración propia.

Figura 7 Entrenamiento de la red neuronal convolucional.



Fuente: elaboración propia.

Figura 8 Matriz de Confusión de la Red Neuronal.

4. Discusión

Los resultados obtenidos en el desarrollo de las trampas electrónicas para contabilizar la presencia de la *Spodoptera Frugiperda* en los campos de maíz han sido satisfactorios, tanto en términos de la implementación del hardware como en los preliminares de la detección y contabilización de insectos. En cuanto al hardware, el diseño utilizado en este prototipo de trampa presenta desafíos, especialmente en lo que respecta a las distancias de transmisión, que alcanzan hasta 3000 metros en línea vista al utilizar los dispositivos XBee™ con antenas de alta ganancia. En campos comerciales de la región del Meta, Colombia, los campos cultivados son de muchas hectáreas, luego se debe transmitir a distancias más largas. Es por esto que se busca realizar la exploración del uso de los dispositivos LoRaWAN® para mejorar el alcance de las transmisiones.

En cuanto al software utilizado para la detección y conteo de insectos basado en procesamiento digital de imágenes los resultados fueron satisfactorios y acertados pero en condiciones en que las polillas están separadas una de otra. Por lo cual, hay necesidad de mejorar los resultados mediante técnicas más avanzadas. Por otro lado, el modelo de red neuronal convolucional ha mostrado potencialidad en la identificación de la polilla cogollera en comparación con otros insectos, como se evidencia en la matriz de confusión obtenida en la figura 8.

Los resultados para la detección de *Spodoptera* llegaron a una precisión del 96.1%. Aunque estos resultados resaltan las capacidades del aprendizaje profundo para

esta clasificación, se requieren investigaciones adicionales para mejorar aún más estos resultados. Se aprecia en la gráfica de precisión y pérdidas de la figura 7, que el modelo aparentemente aprende correctamente con los datos de entrenamiento, pero no se puede afirmar un correcto aprendizaje por el comportamiento de los datos de validación. A pesar de esto, al analizar la matriz de confusión, se observa un rendimiento favorable en relación con el objetivo de este estudio. La detección de la *Spodóptera* arrojó resultados superiores en comparación con la detección de otros insectos (figura 8).

El proceso de investigación debe continuar explorando otros tipos de redes neuronales convolucionales, además de desarrollar estrategias que permitan utilizar las bondades de los dos procedimientos para la detección y conteo de los insectos. Este estudio es financiado por la Universidad de los Llanos (DGI) en Colombia, bajo el proyecto titulado "*Sistema inteligente de detección y mapeo de densidad de población de insectos plaga en cultivos agrícolas utilizando técnicas de aprendizaje automático e IoT*" (C09-F02-007-2021 FCBI). A.F. Jiménez desea expresar su gratitud al Departamento de Boyacá y a Minciencias en Colombia por su respaldo a través del programa de becas No. 733 - 2015 para su Doctorado, llevado a cabo en la Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia y a la Universidad de Los Llanos, Villavicencio, Colombia.

5. Conclusiones

Los resultados preliminares de esta investigación evidencian la potencialidad del uso de las redes de sensores inalámbricos, el IoT, la inteligencia artificial, el aprendizaje automático y la visión por computadora para el monitoreo de la *Spodoptera Frugiperda*. Al seguir avanzando en la investigación se tiene la seguridad que el sistema desarrollado permitirá la disminución en la intervención humana en el control de plagas, optimizando recursos y aumentando los rendimientos agrícolas, al aplicar los tratamientos en el lugar y momento adecuados. Los resultados de la matriz de confusión destacan que el modelo de detección desarrollado ha alcanzado resultados notables en la identificación de diferentes clases de insectos, con especial énfasis en la *Spodoptera Frugiperda*, la cual mostró

una precisión de 98.0% y un 2.0% de exhaustividad. Esta alta precisión significa que el modelo ha identificado correctamente la mayoría de las instancias de la clase *Spodoptera*, minimizando los falsos positivos.

En términos generales, el modelo de red neuronal convolucional ha demostrado una precisión global del 96.1%, lo que indica una capacidad notable para identificar correctamente la mayoría de las clases de insectos en consideración. Sin embargo, la exhaustividad global del 1.2% indica que aún existe margen para mejorar la capacidad del modelo para capturar todas las instancias de las clases, especialmente en el caso de la *Spodoptera*, donde se podría aumentar la exhaustividad para garantizar una detección más completa.

Es necesario continuar investigando en la implementación de sistemas de comunicación de largas distancias y en algoritmos de procesamiento de imágenes que permitan mejorar la precisión en el conteo de insectos. Además, es importante la adecuación del sistema para tener imágenes uniformes en cuanto a iluminación.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Bar-On, Y. M., Phillips, R., & Milo, R. The biomass distribution on earth. *Proc. Natl. Acad. Sci. United States*, No. 115, 6506–6511, May, 2018.
- [2] Ecobertura. *Spodoptera Frugiperda* (Smith), (2023). Tomado de: <https://ecobertura.es/spodoptera-frugiperda/> (último acceso 01/17/2023).
- [3] Fitzpatrick, M. *Create GUI Applications with Python & Qt5 (PyQt5 Edition): The hands-on guide to making apps with Python*. Independently published, 860, 2022.
- [4] Flórián, N., Gránicz, L., Gergócs, V., Tóth, F., & Dombos, M. Detecting Soil Microarthropods with a Camera-Supported Trap. *Insects*, Vol. 11, No. 244, April, 2020.
- [5] Genoud, A. P., Torsiello, J., Belson, M., & Thomas, B. P. Entomological photonic sensors: Estimating insect population density, its uncertainty and temporal resolution from transit data. *Ecological Informatics*, Vol. 61, No. 101186, March, 2021.

- [6] Goldshtein, E., Cohen, Y., Hetzroni, A., Gazit, Y., Timar, D., Rosenfeld, L., & Mizrach, A. Development of an automatic monitoring trap for Mediterranean fruit fly (*Ceratitidis capitata*) to optimize control applications frequency. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 139, 115-125, June, 2017.
- [7] Goergen, G., Kumar, P. L., Sankung, S. B., Togola, A., Tamò, M. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in west and central Africa. *PLoS One*, Vol. 11, No. e0165632, October, 2016.
- [8] Gutiérrez, A., Ansuategi, A., Susperregi, L., Tubío, C., Rankic, I., & Lenza, L. Benchmarking of Learning Strategies for Pest Detection and Identification on Tomato Plants for Autonomous Scouting Robots Using Internal Databases. *J. Sensors*, Vol. 2019, No. 5219471, 1-15, May, 2019.
- [9] Harrison, R. D., Thierfelder, C., Baudron, F., Chinwada, P., Midega, C., Schaffner, U., & Van Den Berg, J. Agro-ecological options for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) management: Providing low-cost, smallholder friendly solutions to an invasive pest. *Journal of environmental management*, No. 243, 318-330, 2019.
- [10] Holguín, G. A., Lehman, B. L., Hull, L. A., Jones, V. P., & Park, J. Electronic traps for automated monitoring of insect populations. *IFAC Proceedings Volumes*, Vol. 43, No. 26, 49-54, 2010.
- [11] Kalleshwaraswamy, C. M., Asokan, R., Swamy, H. M., Maruthi, M. S., Pavithra, H. B., Hegde, K., Navi, S., Prabhu, S. T., & Goergen, G. First report of the Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), an alien invasive pest on maize in India. *Pest Manag. Hortic. Ecosystems*, Vol. 24, No. 1, 23–29, 2018.
- [12] Montezano, D. G., Sosa, D. R., Roque, V. F. 2018. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *African Entomology*, Vol. 26, No. 2, 286-300, October, 2018.
- [13] Paredes, F. A., Rivera, G., Bocanegra, V., Martínez, H. Y., Berrones, M., Niño, N., & Herrera, V. Advances in control strategies against *Spodoptera frugiperda*. A review. *Molecules*, Vol. 26, No. 18, 1-8, September, 2021.

- [14] Potamitis, I., Rigakis, I., Vidakis, N., Petousis M., & M. Weber. Affordable Bimodal Optical. Sensors to Spread the Use of Automated Insect Monitoring. *J. Sensors*, Vol. 2018, No. 3949415, 1-25, May, 2018.
- [15] Preti, M., Verheggen, F., Angeli, S. Insect pest monitoring with camera-equipped traps: strengths and limitations. *J. of Pest Science*, Vol. 94, No. 1, 1-15, March, 2021.
- [16] Rigakis, I., Varikou, K., Nikolakakis, A., Skarakis, Z., Tatlas, N., & Potamitis, I. The e-funnel trap: Automatic monitoring of lepidoptera; a case study of tomato leaf miner. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol.185, No. 106154, 1-25, June, 2021.
- [17] Saradopoulos, I., Potamitis, I., Ntalampiras, S., & Antonidakis, E. Edge Computing for Vision-Based, Urban-Insects Traps in the Context of Smart Cities. *J. Sensors*, Vol. 22, No. 2006, March, 2022.
- [18] Weather Spark. Average Weather in Villavicencio, Colombia, (2023). Tomado de: <https://weatherspark.com/y/24273/Average-Weather-in-Villavicencio-Colombia-Year-Round> (último acceso 03/17/2023).
- [19] Weber, M., Geier, M., Potamitis, I., Pruszynski, C., Doyle, M., Rose, A., Geismar, M., & Encarnacao, J. The BG-counter, the first operative automatic mosquito counting device for online mosquito monitoring: Field tests and technical outlook. *Proc of the AMCA 2017 83rd Annual Meeting, The American Mosquito Control Association, San Diego, USA, No.1, 13–17, February 2017.*